

KARTIRANJE GOZDNIH POŽAROV NA KRASU Z RAZLIČNIMI VIRI DALJINSKO ZAZNANIH POSNETKOV

dr. Urša Kanjir

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije

ursa.kanjir@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1332-5624>

dr. Aleš Marsetič

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije; Vesolje-SI

ales.marsetic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3307-508X>

Marko Peljhan

Systemics Lab, University of California, Santa Barbara

peljhan@ucsb.edu, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2186-9256>

dr. Žiga Kokalj

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije

ziga.kokalj@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-0351>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_11

UDK: 528.8:630*43(497.472) "2022"

IZVLEČEK

Kartiranje gozdnih požarov na Krasu z različnimi viri daljinsko zaznanih posnetkov

Požari v naravi so tesno povezani z delovanjem človeka in svetovnimi podnebnimi spremembami. Imajo velik vpliv na okolje ter zdravje in varnost ljudi. Spremljanje požarov na velikem območju je z uporabo posnetkov daljinskega zaznavanja postalo stroškovno in časovno učinkovito. V študiji se osredotočamo na spremljanje gozdnih požarov, natančneje na zaznavo aktivnih požarov in velikosti pogorelih površin, ki so nastali julija 2022 na Goriškem Krasu. Analiziramo satelitske posnetke Sentinel-2 in NEMO-HD, ter posnetke zajete z brezpilotnim letalnikom. Ugotavljamo, da posnetki zajeti z brezpilotnim letalnikom omogočajo najbolj natančno oceno obsega požarov, s satelitskih posnetkov pa, zaradi manjše prostorske ločljivosti, časa snemanja ali prisotnosti oblakov, pridobimo nekoliko podcenjene velikosti pogorelih površin, a lahko iz njih razberemo aktiven ogenj.

KLJUČNE BESEDE

pogorele površine, zaznavanje sprememb, spektralne spremenljivke, satelitski posnetki, brezpilotni letalnik

ABSTRACT

Mapping forest fires in the Karst region using various remote sensing data sources

Wildfires are closely linked to human activities and global climate change. They have a major impact on the environment, as well as on human health and safety. Monitoring fires over large areas has become cost and time efficient through the use of remote sensing imagery. In this study, we focus on the monitoring of forest fires, in particular the detection of active fires and the extent of burnt areas that occurred in the Goriška Karst region in July 2022. We analyse Sentinel-2 and NEMO-HD satellite imagery, as well as images taken by unmanned aircraft. We find that unmanned aircraft imagery provides the most accurate estimate of fire extent, while satellite imagery provides a slightly underestimated burnt area due to lower spatial resolution, acquisition time or the presence of clouds, but is still able to detect active fires.

KEY WORDS

burnt areas, change detection, spectral variables, satellite images, unmanned aircraft

1 Uvod

Gozdne požare označujejo nenadnost in nepredvidljivost ter velika uničevalna zmogljivost, zaradi česar sta njihovo odkrivanje in napovedovanje zahtevna (Zhao in sodelavci 2023). Giglio in sodelavci (2018) so ocenili, da naj bi na svetu na letni ravni zgorelo okoli 3,4 % vse zemeljske kopne površine. Gozdni požari imajo velik vpliv na naravno okolje, človekove dejavnosti in podnebne spremembe (Wang, Qu in Hao 2008) in bistveno spremenijo strukturo, sestavo in delovanje ekosistemov (Pérez-Cabello, Montorio in Alves 2021). Za ekosisteme so lahko hkrati koristni in škodljivi. Na gozdne požare vplivajo številni dejavniki, med katerimi so najpogostejši meteorološke spremenljivke (temperature, veter, padavine, relativna vlaga), topografija terena, vrsta vegetacije in človekove dejavnosti (Guo in sodelavci 2017). Natančno spremljanje gozdnih požarov je ključnega pomena za njihovo zgodnje odkrivanje, sledenje širjenju požara, odkrivanju aktivnega ognja, izboljšanju učinkovitosti gašenja, oceno škode in vpliva na okolje, oceno pogorelih površin in opazovanje obnove vegetacije (Thomaz in Pereira, 2021). Daljinsko zaznavanje ima zaradi pogostega opazovanja in možnosti opazovanja večjih območij naenkrat prednost pred tradicionalnimi, večinoma terenskimi metodami pregledovanja. Zaznavamo lahko trenutno aktivne požare, pogorele površine po samem dogodku in posledice ekoloških učinkov požara (Lentile in sodelavci 2006). Spektralne razlike ob požaru so v vidnih spektralnih kanalih in mikrovalovnem kanalu majhne, v kanalih bližnje infrardeče svetlobe (*angleško near infrared* – NIR), kratkovalovne infrardeče (*angleško short wave infrared* – SWIR) in termalnih kanalih pa precejšnje, zato jih običajno zaznavamo v teh spektralnih kanalih. Prav tako za zaznavanje velikosti pogorelih površin pogosto uporabljamo spektralne indekse, ki posredno ocenjujejo spremembe biofizikalnih lastnosti vegetacije, na primer fotosintetsko aktivnost (Liu et al., 2020). Spektralni indeksi temeljijo na razmerjih kanalov, ki običajno vključujejo bližnje infrardeče kanale, kot npr. normirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI), izboljšani vegetacijski indeks (EVI – *angleško enhanced vegetation index*) in normirano razmerje



Slika 1: Zemljevid z lokacijo požarov.

požganosti (NBR – *angleško normalized burn ratio*). Aktivni požari so glede na okolico običajno zelo vroči in oddajajo velike količine toplotne energije, ki jo lahko opazujejo toplotni senzorji na satelitih ali letalih (Wooster in sodelavci 2021).

V prispevku so opisani različni satelitski sistemi in kazalniki, s katerimi smo opazovali gozdne požare, ki so se v drugi polovici julija, natančneje med 15. in 31. julijem, leta 2022 širili na območju Krasa, torej zahodne Slovenije in delu Italije v bližini državne meje (slika 1). Vegetacija je bila gosta in suha, zato je bilo gašenje požarov v kombinaciji z visokimi poletnimi temperaturami, močnim vetrom in zahtevnim terenom, zelo oteženo. Požari, ki so zajeli območje s prepoznavnimi krajinskimi značilnostmi na nacionalni ravni in zavarovano območje Nature 2000, veljajo za največje požare v Sloveniji, stroški sanacije pa so bili ocenjeni na več kot 47 milijonov evrov (Košček in sodelavci 2023). Cilj prispevka je prikaz uporabnosti različnih senzorjev daljinskega zaznavanja ob požarih. V prispevku opišemo veččasovne posnetke požarov zajete z visoko ločljivim satelitskim sistemom Sentinel-2, posnetek visoko ločljivega satelita NEMO-HD in mozaik posnetkov zajetih z zelo visoko ločljivim senzorjem na brez-pilotnem letalniku. S posnetki Sentinel-2 smo zaznavali tudi stanje aktivnih požarov v času preleta satelita nad požanim območjem.

2 Metode dela in podatki

Gozdne požare na Krasu v obdobju med 15. in 31. julijem 2022 smo spremljali z različnimi sistemi daljinskega zaznavanja in sicer: s satelitskimi posnetki senzorjev Sentinel-2 in NEMO-HD ter posnetki brez-pilotnih letalnikov C-Astral Bramor in Wingtra One.

2.1 Posnetki Sentinel-2

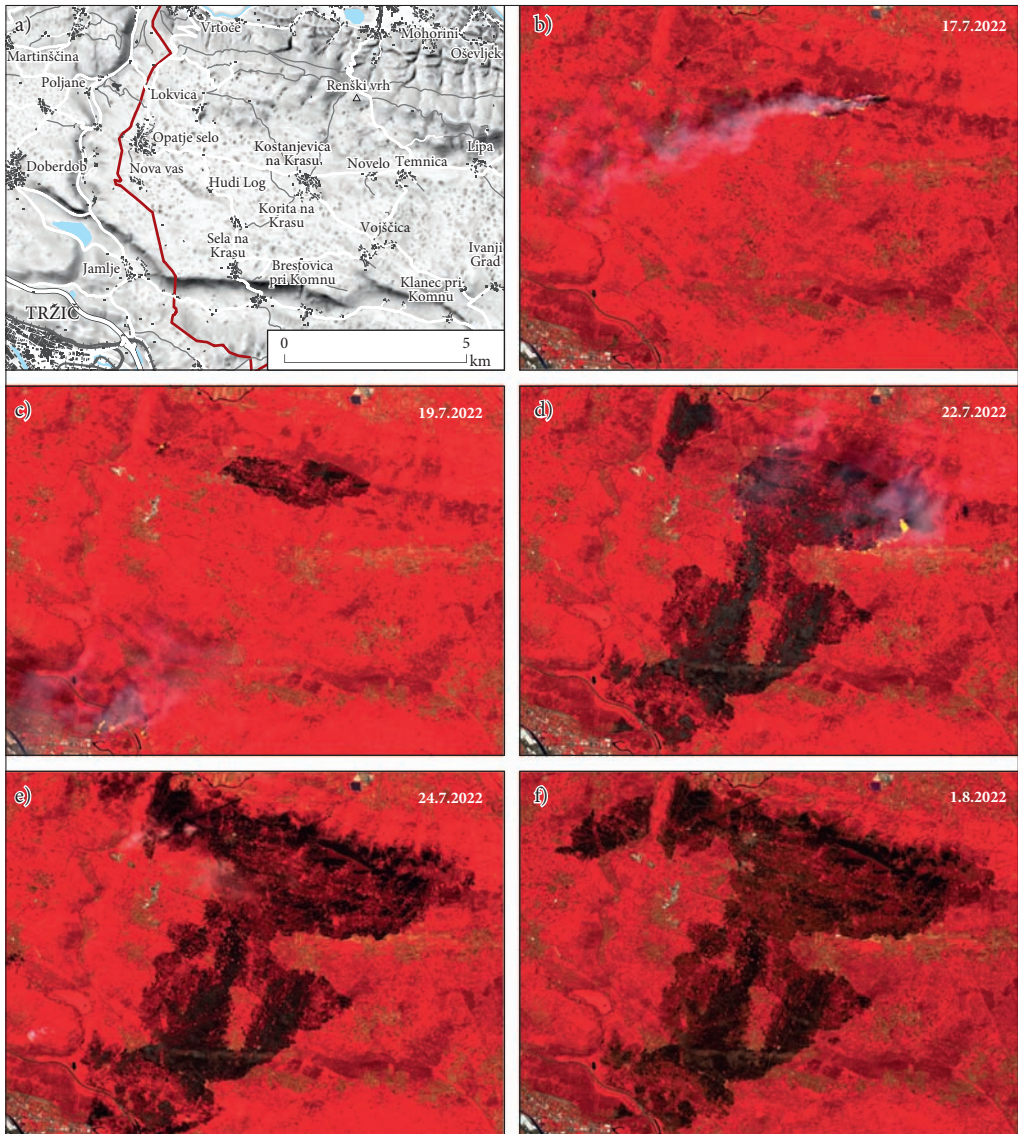
Optična satelita Sentinel-2A in 2B, ki sta del evropskega programa Kopernik, snemata z večspektralnim senzorjem v trinajstih spektralnih pasovih v treh različnih prostorskih ločljivostih: 10 metrov (štirje kanali), 20 metrov (šest kanalov) in 60 metrov (trije kanali). Posnetki so od junija 2015 na voljo vsakih deset dni, od marca 2017 pa na pet dni (Drusch in sodelavci 2012). Zaradi preklopa pasov snemanja je časovna ločljivost na območju Slovenije še boljša, in sicer znaša med tri in štiri dni, vendar je gostota brezoblačnih posnetkov mnogo manjša (Pehani in sodelavci 2022). Posnetki so prosto in brezplačno dostopni vsem uporabnikom. Zaradi visoke prostorske ločljivosti in razmeroma pogostega snemanja so primerni tudi za odkrivanje manjših požarov (< 100 ha), ki v svetovnem merilu pomenijo pomemben delež pogorelih površin (Zagalikis 2023). Požari so najbolj opazni na lažno barvnih oziroma infrardečih barvnih posnetkih, kjer so območja z visoko odbojnostjo v infrardečem delu spektra (npr. zdrava vegetacija) videti rdeči, zato so pogorela območja gozdov v temnejših barvah zelo očitna (glej slike 2, 4 in 7).

Iz kombinacije rdečega in infrardečega kanala posnetka Sentinel-2, smo izračunali NDVI na datum pred začetkom (4. julij 2022) in po koncu (1. avgust 2022) požarov ter njuno razliko (slika 3). Iz slike 3 se v temnejših tonih lepo razbere obseg požarišča, saj je NDVI dober pokazatelj (ne)aktivnosti vegetacije in posledično neposreden pokazatelj pogorelih površin.

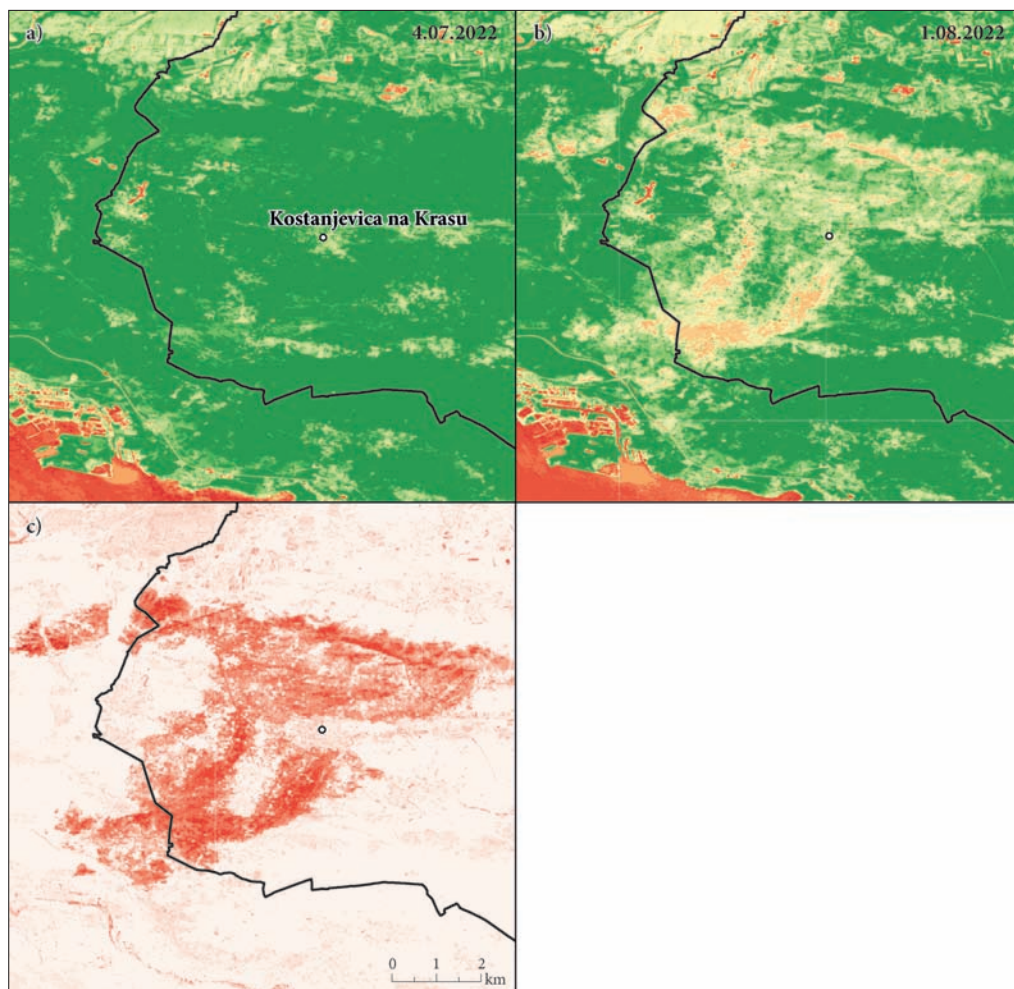
2.2 Posnetki NEMO-HD

NEMO-HD je prvi slovenski mikrosatelit. Izstreljen je bil leta 2021 in upravlja ga Center odličnosti vesolje, znanost in tehnologije (Vesolje-SI; slovenska okrajšava podjetja, ki je lansirala satelit NEMO-HD). Razvit je bil v sodelovanju z Inštitutom za vesoljske polete (*angleško Space Flight Laboratory*) Univerze v Torontu. NEMO-HD je osmerokotne oblike in ima maso 60 kg. Njegova osnovna naloga je raziskati nov koncept opazovanja Zemlje z združevanjem videa in večspektralnega snemanja

za interaktivne storitve daljinskega zaznavanja v skoraj realnem času, ki omogočajo dostavo izostrenih večspektralnih posnetkov in video izdelkov visoke ločljivosti (Rodič in sodelavci 2022). Primarna optična kamera zagotavlja pankromatske posnetke širine 10 km in prostorske ločljivosti 2,8 m ter večspektralne posnetke v štirih kanalih (R, G, B, NIR) s prostorsko ločljivostjo 5,6 m. Poleg tega sta na voljo dva video kanala z ločljivostjo 1920 × 1080 pikselov; eden v ločljivosti 2,8 m in širino snemalnega pasu 5 km ter drugi v ločljivosti 40 m in širino snemalnega pasu 75 km. Satelit je del sistema, ki združuje



Slika 2: Časovna vrsta posnetkov satelitov Sentinel 2, ki prikazujejo obseg požarišča v lažnih barvah, iz katerih je v temnejših barvah lepo razvidno širjenje pogorelih površin skozi čas (datum naveden na posameznem posnetku).

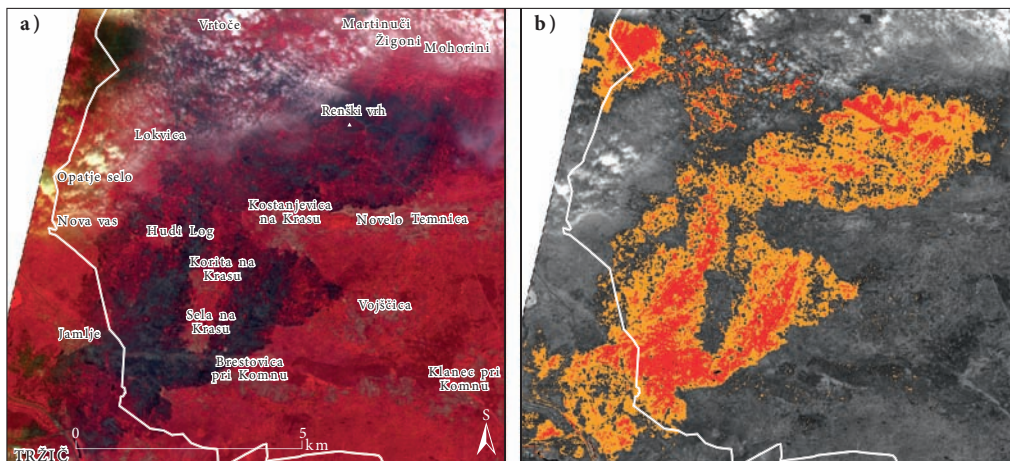


Slika 3: Spektralna primerjava NDVI pred (a) in po požarih (b) ter njuna razlika (c) med 4. julijem in 1. avgustom. Temno rdeča območja na sliki c so območja požarišča, črna črta na vseh slikah (a, b in c) pa je državna meja med Italijo in Slovenijo.

okretni mikrosatelit z novimi prenosnimi zemeljskimi postajami STREAM in napredno procesno verigo za obdelavo podatkov STORM, ki omogoča, da so satelitski posnetki uporabni za obdelavo in zagotavlja njihove produkte, kot na primer spletne karte. Glavne uporabnosti so namenjene spremljanju pametnih mest, porečij in morij ter opazovanju gozdov, kmetijskih zemljišč, gozdnih požarov, suš, poplav in invazivnih rastlin.

Požare na Krasu je NEMO-HD posnel 23. julija 2022 zjutraj, en teden od začetka gorenja (slika 4a). Na posnetku se zato vidi tudi dim. Satelit je poleg večspektralnega in pankromatskega posnetka posnel tudi video visoke ločljivosti.

Iz rdečega in bližnje infrardečega kanala posnetka NEMO-HD smo izračunali NDVI ter iz njegovih nizkih vrednosti opredelili območja, ki so jih prizadeli požari. Slika 4b prikazuje zaznavo požarišča. Huje prizadeta območja so prikazana z rdečo barvo, preostala, manj prizadeta območja, pa z oranžno.



Slika 4: Posnetek satelita NEMO-HD iz 23. julija 2022 v lažnih barvah (a) in rezultati zaznave prizadetega območja (b). Huje prizadeta območja so prikazana z rdečo barvo, manj prizadeta območja pa z oranžno. Bela črta označuje državno mejo.

Prizadeto območje, ki smo ga zaznali, se je raztezalo tudi v sosednjo Italijo, kjer smo opazili nekaj napačnih zaznav, predvsem v urbanem okolju (mesto Tržič in avtocesta). To je posledica dejstva, da so vrednosti NDVI na pozidanih površinah prav tako nizke, podobno kot pri pogorelih območjih.

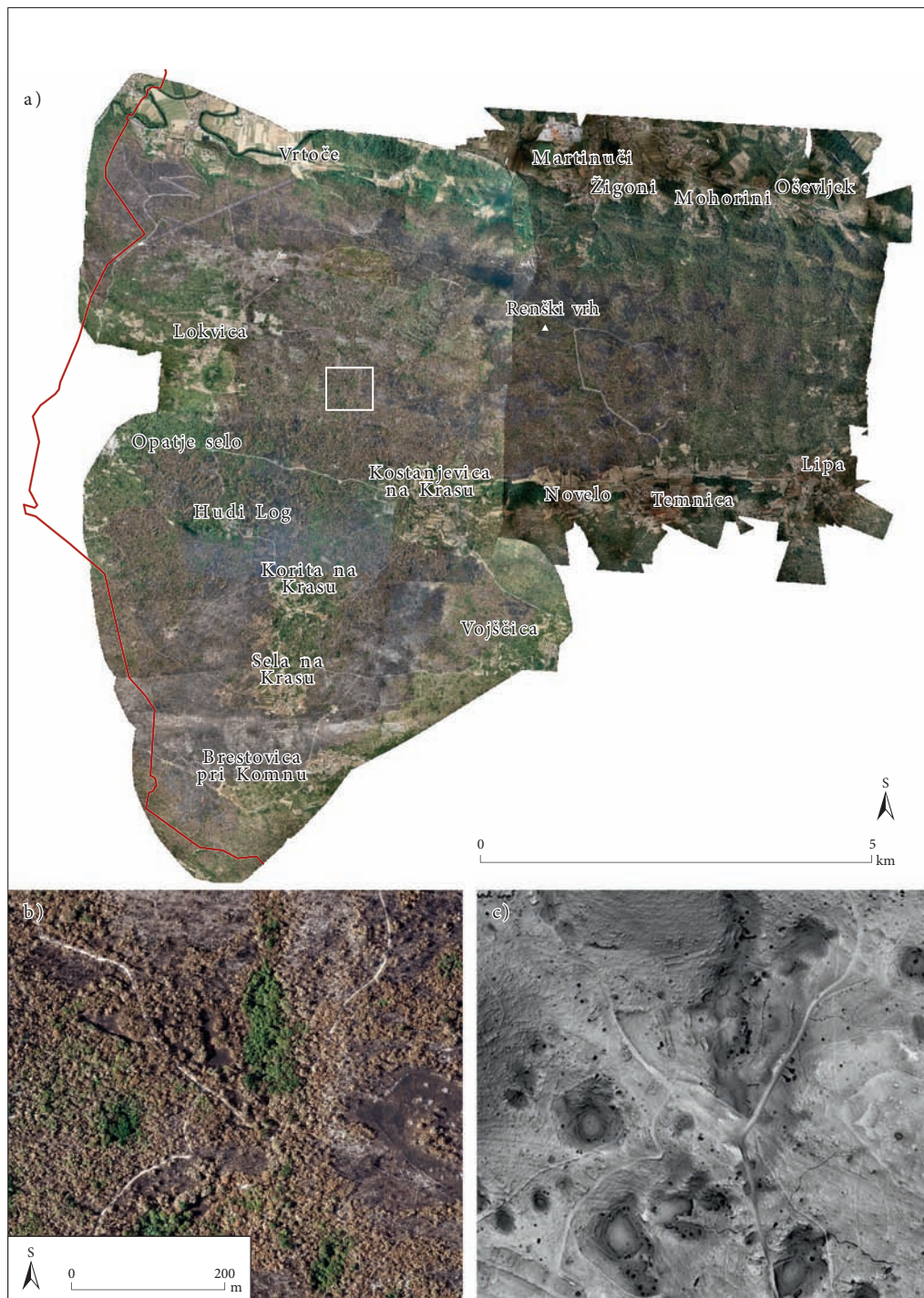
2.3 Posnetki brezpilotnih letalnikov

Takoj po koncu gorenja je ekipa podjetja C-ASTRAL v sodelovanju z laboratorijem SPEKTR-Z (Peljhan in SPEKTR-Z 2024) z brezpilotnima letalnikoma Bramor in Wingtra One posnela ter registrirala posnetke na območju Goriškega Krasa in izdelala ortofoto mozaik v prostorski ločljivosti 12 cm za potrebe pridobitve požarne ogroženosti gozdov (slika 5). Na Zavodu za gozdove Slovenije so nato na podlagi ročne fotointerpretacije določili površino poškodovanih območij na območju Slovenije in jo ocenili na skupno 3707 ha, od tega 2902 ha gozdov. Obenem so določili stopnjo poškodovanosti gozda in ugotovili, da je dobra tretjina gozdov na požarišču popolnoma pogorelih (1054 ha), polovica (1448 ha) pa je bila prizadetih med 50–90 %. Celotna pogorela površina v Sloveniji in Italiji naj bi skupaj obsegala kar okoli 4.500 ha (Košček in sodelavci 2023).

Pri pregledu posnetkov požarišča smo opazili zelene površine ohranjene vegetacije in jih povezali z digitalnim modelom višin (sliki 5b in 5c). Ugotovili smo, da je gozd v večjih vrtačah in drugih večjih vdolbinah ostal nepoškodovan. Sklepamo, da ga je nižja lega zaščitila pred požari, ki so divjali na višjem terenu.

Slika 5: Območje požarov v Sloveniji, ki je bilo posneto s pomočjo laboratorija SPEKTR-Z z letalnikoma podjetja C-ASTRAL v začetku avgusta 2022 (na levi Wingtra One, na desni C-Astral Bramor) (a). Z rdečo barvo je prikazana državna meja med Italijo in Slovenijo, bel pravokotnik pa nakazuje lokacijo detajla na delih (b) in (c). Zelene zaplate preživele vegetacije, ki rastejo na območju večjih kraških vrtač in drugih vdolbin JV od griča Bršljanovec (b). Na podatkih aerolaserskega skeniranja so vrtače lepo vidne, prav tako tudi jarki, okopi, zakloni, zidovi stavb in druge ostaline prve svetovne vojne (c).

► (str. 138)



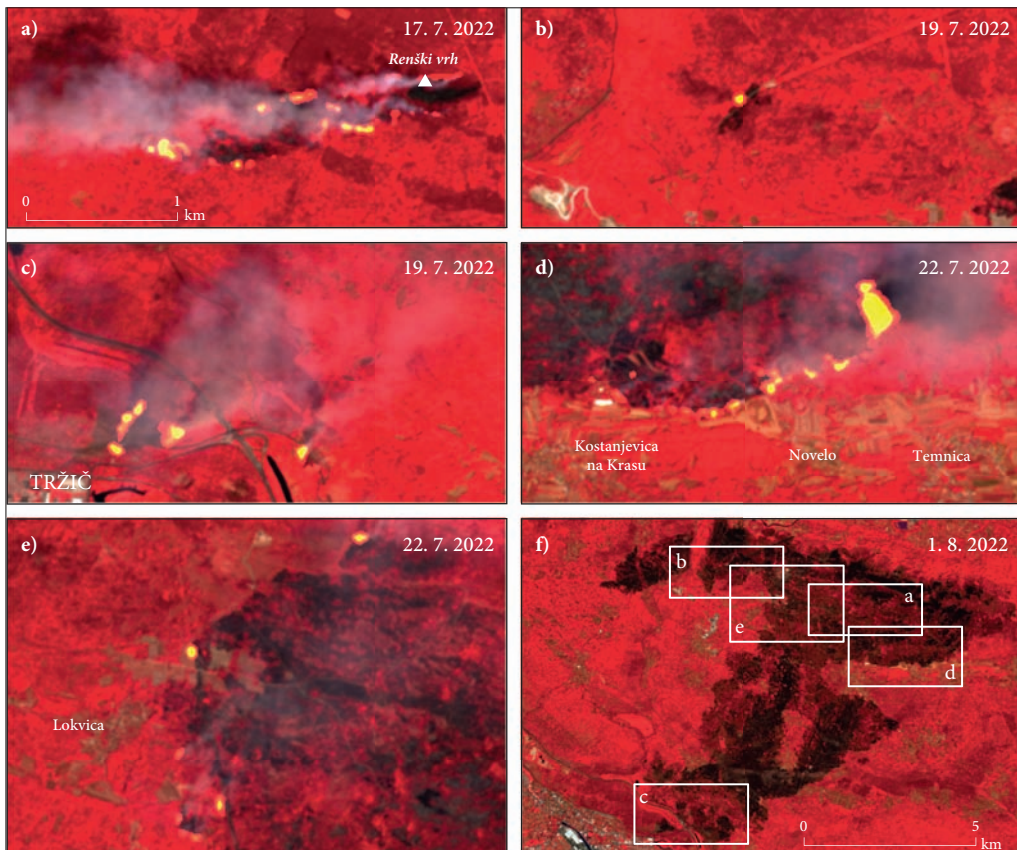
3 Rezultati in razprava

3.1 Primerjava obsega požarišča med različnimi sistemi

Za območje Slovenije smo z različnimi sistemi določili obseg požarišča (preglednica 1). Zavod za gozdove Slovenije je na podlagi posnetkov zajetih z brezpilotnim letalnikom površino pogorelega ozemlja določil na 3707 ha, največ med vsemi sistemi. S satelitskimi posnetki Sentinel-2, zajetimi pred in

Preglednica 1: Primerjava velikosti obseg požarišča zaznanega z različnimi sistemi.

Sistem opazovanja	pogorele površine [ha]	razmerje med pogorelimi površinami
Sentinel-2	3367	91 %
NEMO-HD	2450	66 %
brepilotni letalnik (ocena Zavoda za gozdove Slovenije)	3707	100 %



Slika 6: Aktivni požari v rumenih do svetlo rdečih tonih, kot smo ga zaznali na posnetkih Sentinel-2 različnih datumov. Deli slike a-e so v istem merilu, del (f) prikazuje lokacije izrezov.

po požarih, smo na osnovi razlike v NDVI identificirali območje, ki je približno za 350 ha manjše (3367 ha). Razliko pripisujemo manjši prostorski ločljivosti satelitskih posnetkov zaradi katere je velikost pogorelih površin podcenjena, zlasti na robovih požarišča. Najmanjšo pogorelo površino smo ocenili z obdelavo posnetka satelita NEMO-HD (2450 ha). To je pričakovano, saj je bil posnetek zajet v času, ko požar še ni nehal goriti in še ni dosegel največjega obsega. Deloma lahko manjši ocenjeni obseg pripišemo še prisotnosti oblakov na posnetku, zlasti na severozahodnem delu območja požarov.

3.2 Zaznavanje aktivnih požarov

Za ugotavljanje aktivnih požarov smo uporabili algoritem QuickFire (Markuse, 2022), ki s kombiniranjem kanalov satelitskega posnetka Sentinel-2 in upoštevanjem pragov spektralnih vrednosti prikaže območja ognja. Algoritem za ugotavljanje aktivnih požarov uporabi kanale srednje infrardeče svetlobe (B11, B12) in verjetnosti oblačnosti, izračunane s knjižnico s2cloudless (Aleksandrov in sodelavci 2020), za prikaze ostalega območja pa še kanale vidne svetlobe (B1, B2, B3, B4) in bližnje infrardeče svetlobe (B8, B8a). Območja aktivnih požarov poudari z rumenimi do rdečimi barvnimi toni. Slika 6 prikazuje približana območja z zaznanim aktivnim ognjem med 17. in 22. julijem. Na posnetkih drugih datumov ognja ni bilo mogoče zaznati.

4 Sklep

Ugotavljamo, da lahko s prosto dostopnimi in brezplačnimi posnetki ter razmeroma preprostimi analizami kartiramo pogorele površine in aktivne požare. V medijih so poročali, da naj bi požari na slovenskem in italijanskem delu Krasa obsegali med 2000 in 3700 hektarjev dela planote Kras v obeh državah (Gasar 2023; Intihar 2023). Z analizami podatkov daljinskega zaznavanja različnih sistemov smo določili obseg požarišča na območju Slovenije in jih primerjali med seboj. Največje območje pogorelih zemljišč so z ročno fotointerpretacijo podatkov brezpilotnih letalnikov C-Astral Bramor in Wingter One določili na Zavodu za gozdove Slovenije (3707 ha), sledita oceni na podlagi satelitov Sentinel-2 in NEMO-HD. Velikost požarišča je s satelitom Sentinel-2 podcenjena za 9 %. Obema satelitskima sistemoma gre slabšo oceno pripisati njuni manjši prostorski ločljivosti. Pri NEMO-HD imata velik vpliv tudi datum snemanja in prisotnost oblakov. Prav tako smo uspeli zaznati v času snemanja aktivne požare, le da so ti omejeni na časovno in prostorsko ločljivost razpoložljivih senzorjev. Poleg omenjenega je treba upoštevati še finančne vidike pri uporabi podatkov v članku predstavljenih daljinsko zaznanih platform. Snemanje z brezpilotnimi letalniki zahteva precejšnja finančna sredstva, medtem ko lahko dostopamo do satelitskih podatkov obeh senzorjev brezplačno.

Opisane podatke daljinskega zaznavanja bi lahko uporabili tudi za spremljanje obnove gozdov po požarih. Na ta način bi lahko zagotovili ključne informacije za izboljšanje upravljanja in podporo obnovi ekosistemov po požarih v naravi, še posebej z analizami, ki temeljijo na kombinaciji omenjenih vrst daljinsko zaznanih podatkov. Prav tako bi lahko za izvedbo natančnih analiz uporabili napredne pristope strojnega učenja. Ti pristopi lahko vključujejo enostavnejše metode, kot so ključni gozdovi (Breiman 2001), ali računsko zahtevnejše metode, ki uporabljajo globoko učenje (npr. nevronska mreža U-Net (Ronneberger, Fischer in Brox 2015)).

ZAHVALA: Zahvaljujemo se laboratoriju SPEKTR Z, podjetju C-ASTRAL d. o. o., Mateju Bonetu, Jerneju Modercu, Samu Stoparju ter Mihi Mayerju za posredovanje procesiranih posnetkov, zajetih z brezpilotnimi letalniki, ter podjetju Vesolje-SI za posredovane posnetke satelita NEMO-HD. Raziskava je bila delno financirana s sredstvi Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije v okviru programov Antropološke in prostorske študije (P6-0079) ter Opazovanje Zemlje in geoinformatika (P2-0406).

5 Viri in literatura

- Aleksandrov, M., Lukšič, Ž., Milčinski, G., Ghandour, A.J., Schwehr, K., Lubej, M. 2020: Sentinel Hub's cloud detector for Sentinel-2 imagery. Medmrežje: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (27.2.2024).
- Breiman, L. 2001: Random Forests. *Machine Learning* 45. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P. 2012: Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment* 120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Gasar J.: 2023. Leto dni po požaru na Krasu: Lani žareča, letos spokojna Brestovica. Dnevnik. Medmrežje: <https://www.dnevnik.si/1043028555/lokalno/primorska/fotoreportaza-letost-dni-pozaru-na-krasu-lani-zareca-letos-spokojna-brestovica> (8.1.2024)
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O. 2018: The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment* 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Guo, F., Su, Z., Wang, G., Sun, L., Tigabu, M., Yang, X., Hu, H. 2017: Understanding fire drivers and relative impacts in different Chinese forest ecosystems. *Science of The Total Environment* 605–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.219>
- Intihar, A. 2023. Goreči Kras julija lani in 280 dni kasneje. Delo. Medmrežje: <https://www.delo.si/novice/slovenija/goreci-kras-julija-lani-in-280-dni-kasneje/> (8.1.2024)
- Košiček, B., Poljanec, A., Kravanja, M., Reščič, M., Kolšek, M., Mori, J., Gasparič, B., Magajna, B., Zadnik, A., Sila, A., Sankovič, P., Jazbec, J., Šemrov, M., Breznikar, A., Rantaša, B., Stergar, M., Marenče, M., Pristovnik, D., Hrovat, T., Danev, G. 2023: Načrt sanacije gozdov poškodovanih v požaru Goriški Kras. Medmrežje: http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/Nacrti_sanacije/20230130_NS_GoriskiKras_koncna.pdf (16.12.2023).
- Lentile, L., Holden, Z., Smith, A., Falkowski, M., Hudak, A., Morgan, P., Lewis, S., Gessler, P., Benson, N. 2006: Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 15. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF05097>
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., Tong, X. 2020: A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European Journal of Remote Sensing* 53. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
- Markuse, P. 2022: QuickFire. Medmrežje: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/markuse_fire/ (26.6.2023).
- Pehani, P., Veljanovski, T., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2022: Šest let arhiva podatkov Sentinel-2 za Slovenijo. | Six years of Sentinel-2 archive of Slovenia. *Geodetski vestnik* 66. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.02.220-257>
- Peljhan, M., SPEKTR Z 2024. Oculos Super Ignes Vigilantes Volavimus (2022-). Zavod Projekt Atol, Ljubljana.
- Pérez-Cabello, F., Montorio, R., Alves, D.B. 2021: Remote sensing techniques to assess post-fire vegetation recovery. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100251>
- Rodič, T., Urbas, A., Fröhlich, H., Lamut, M., Bošnjak, M., Smerdu, A., Marsetič, A., Kokalj, Ž., Johnston-Lemke, B., Roth, N., Handojo, N., Grocott, S.C.O., Zee, R.E. 2022: NEMO-HD in-orbit results for agile scanning of cities, river basins and 3D objects by satellite video and multispectral cameras. 4S Symposium. Vilamoura, Portugalska.
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. 2015: U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

- Thomaz, E.L., Pereira, P. 2021: Editorial overview: »Fire. Prevention, management and challenges.« *Current Opinion in Environmental Science & Health* 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100301>
- Wang, L., Qu, J.J., Hao, X. 2008: Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.06.005>
- Wooster, M.J., Roberts, G.J., Giglio, L., Roy, D.P., Freeborn, P.H., Boschetti, L., Justice, C., Ichoku, C., Schroeder, W., Davies, D., Smith, A.M.S., Setzer, A., Csiszar, I., Strydom, T., Frost, P., Zhang, T., Xu, W., de Jong, M.C., Johnston, J.M., Ellison, L., Vadrevu, K., Sparks, A.M., Nguyen, H., McCarty, J., Tanpipat, V., Schmidt, C., San-Miguel-Ayanz, J. 2021: Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment* 267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694>
- Zagalikis, G. 2023: Remote Sensing and GIS Applications in Wildfires. *Geographic Information Systems – Data Science Approach*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111616>
- Zhao, Y., Huang, Y., Sun, X., Dong, G., Li, Y., Ma, M. 2023: Forest Fire Mapping Using Multi-Source Remote Sensing Data: A Case Study in Chongqing. *Remote Sensing* 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15092323>